

## KSTAR 10대 기술성과

### 제3편 대형 초전도자석 극저온 시험 기술을 확보하다

#### 현황

초전도자석은 극저온 상태로 냉각하면 전기저항이 사라지는 초전도체가 되어 대전류 고자장으로 장시간 운전이 가능하게 된다. 국내기술로 KSTAR 장치를 완성하기 위해서는 핵심 부품인 초전도자석의 설계 제작과 더불어 극저온의 극한 환경에서의 대형초전도자석의 시험기술의 자립화가 필수적이다. 이를 위해서 높이 6m 규모의 대형 초전도자석 시험장치를 구축하였으며, 다양한 종류의 초전도자석 성능시험을 수행하였다. 이 시험 기술은 KSTAR 장치의 건설완공 이후 극저온 냉각을 비롯한 종합시운전을 수행하는 기반기술이 되었다.

#### 시험설비

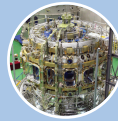
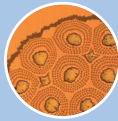
초전도자석의 성능시험은 고진공 (10~8mbar), 극저온 (4.5 K), 고자장 (10테슬라 급), 고전자기력 (10 MN급)의 극한 환경에서 이뤄진다. 이를 위해 구축된 시험설비의 주요 구성은 아래와 같다.

- 대형 극저온 진공용기 직경 6m, 높이 8m의 액체질소 차폐형
- 헬륨냉동기 설비 4.5 K 온도에서 1 kW 급
- 극저온 헬륨냉매의 밸브제어 시스템
- 전류인입선 40 kA급, 20 kA급 헬륨증발에 의한 냉각형
- 초전도자석 전원장치 단방향 40 kA급, 쌍방향 25 kA급
- 초전도자석 퀴치 보호 장치 (Quench Protection)
- 운전 제어실 시험설비 운전 및 초전도자석 시험 제어 및 측정

KSTAR와 유사한 세계적인 대형 초전도자석 시험설비로는 ITER의 초전도자석 R&D를 주로 수행하였던 스위스 CRPP의 SULTAN 설비, 독일 FZK 연구소의 TOSKA 설비와 일본 JAEA 연구소의 ITER CSMoel 코일 시험설비 등이 있다.



초전도자석 시험설비 중, 극저온진공용기와 극저온헬륨 냉동기

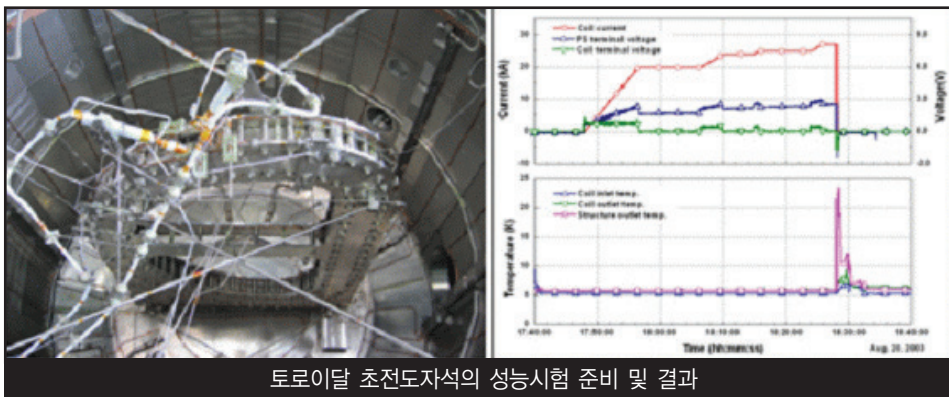


### KSTAR 초전도자석 계통 주요 성능시험 결과

#### 1) 토로이달 초전도자석 성능 시험

Nb3Sn 초전도체로 제작된 토로이달 초전도자석의 극저온 대전류 운전환경에서의 안정성 시험 수행

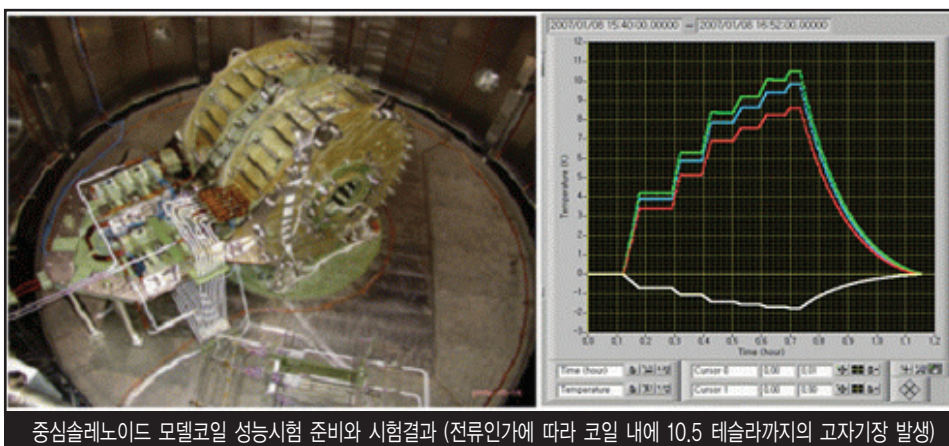
- 전류 인가 및 방전 시험 33 kA, 40 A/s
- 고속 방전 시정수 2 sec
- 운전 온도 ~ 4.5 K
- 도달 진공도  $1 \times 10^{-8}$  mbar



#### 2) 중심 슬레노이드 모델 코일 시험

KSTAR에서 플라즈마 발생을 위해서는 중심슬레노이드를 포함한 원형자석은 고속으로 전류 및 자기장의 변화가 요구된다. 따라서 본 제품보다 더 가혹한 환경에서 안정된 운전 특성을 확인

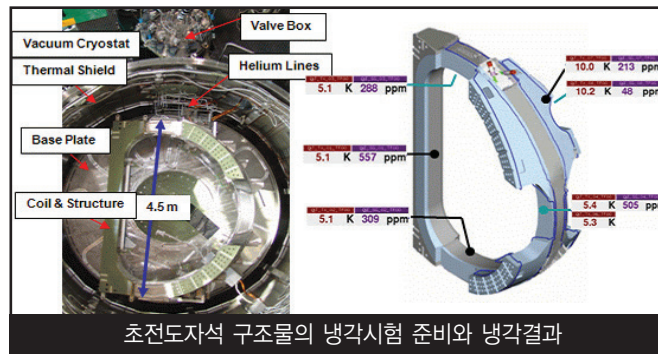
- 인가 전류 DC 25 kA, AC 10 kA
- 시험 인가 전류 변화율  $di/dt=23$  kA/s
- 연속 운전 성능 8시간 연속 DC 20 kA, 5.5 K 온도 안정화 검증
- 측정 자기장 10.5 T
- 교류손실시상수 30 ms (설계 : 60ms 이하)



### 3) 토로이달 자석 구조물 극저온 냉각 시험

대형 스테인레스 스틸로 제작된 구조물 내에 TF 초전도자석을 장착한 뒤 동시에 냉각시험 수행

- 자석 무게 10 tons
- 냉각 기간 11 days
- 구조물 전체 온도 분포가 균일
- 극저온 냉각에서 구조물 안정성 검증

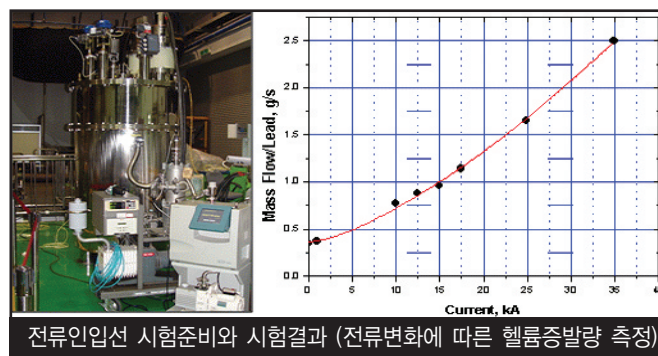


초전도자석 구조물의 냉각시험 준비와 냉각결과

### 4) 전류인입선 개발 시험

국내 기술로 개발한 17.5 kA급 전류인입선의 성능검증 시험 결과 설계 값을 만족하는 결과 획득

- 냉각 열부하량(0kA) = 0.4 W/kA, 설계 값 0.45 W/kA
- 냉각 열부하량(17.5 kA) = 1.3 W/kA, 설계 값 1.26 W/kA
- 냉각 열부하량(35 kA) = 2.9 W/kA, 설계 값 2.89 W/kA



전류인입선 시험준비와 시험결과 (전류변화에 따른 헬륨증발량 측정)

## 기술 개발의 의의 및 향후 활용

KSTAR 장치의 건설 기술과 더불어 대형 초전도자석의 극저온 냉각을 포함한 성능시험 기술을 확보함으로써 KSTAR 장치의 운전을 위한 기본기술을 확보할 수 있게 되었으며 성능시험을 통해 KSTAR 장치의 자석의 탁월한 성능을 확인하게 되었다.

또한 KSTAR를 통해 이룬 초전도자석 시험분야에서의 기술적 성과는 인력양성뿐만 아니라 관련 산업 기술 전파에도 기여한 것으로 판단된다. 특히 대형 극저온 구조물 제작기술, 극저온 냉각기술, 극저온 측정기술을 비롯한 전력기술 등은 향후 국내의 첨단산업 기술로의 활용이 가능하다.